



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO DE LA MIOPIA NOCTURNA EN EL CAMPO PERIFÉRICO

Autora

Judit Dauden Lafoz

Directores

Francisco J. Ávila

Laura Remón



Facultad de Ciencia / Grado Óptica y Optometría
Año 2020

RESUMEN

La miopía nocturna es un fenómeno fisiológico que se producen en condiciones de baja iluminación y provoca una degradación de la imagen. El objetivo de este estudio es la medición de la refracción objetiva en el campo visual periférico (distintas excentricidades) para diferentes niveles de iluminación en pacientes sanos y la evaluación del efecto de la iluminación sobre la morfología pupilar.

Para llevar a cabo el estudio, se midió la refracción objetiva en posición central y periférica para distintas luminancias con el autorefractómetro de campo abierto. Se evaluaron los 60º centrales, 30º a cada lado del punto de fijación. En el estudio participaron 11 pacientes sanos. Los resultados obtenidos muestran cambios morfológicos de la pupila a medida que el nivel de iluminación se reduce, produciéndose un aumento del diámetro pupilar. El equivalente esférico en posición central de mirada sufre un cambio refractivo miópico al disminuir la iluminación. El equivalente esférico para las diferentes excentricidades sufre un aumento del error refractivo, volviéndose más miope a medida que la medición se realiza más lejos de la posición central y también a medida que se reduce la iluminación. Al realizar la comparación de los resultados para diferentes excentricidades se obtienen valores estadísticamente significativos.

SUMMARY

Night myopia is a physiological phenomenon that occurs in low light conditions and causes image degradation. The goal of this study is to measure the objective refraction in the peripheral visual field (different eccentricities) for different levels of illumination in healthy patients and to evaluate of the effect of illumination on pupil morphology.

An open-field autorefractometer (Grand Seiko WAM5500, Hiroshima, Japan) was used to measure objectively the refractive state in central and peripheral position for different luminances. The central 60º were evaluated, 30º on each side of the fixation point. Eleven healthy patients participated in the study. The obtained results show morphological changes of the pupil as the level of illumination is reduced, producing an increase in the pupil diameter. The spherical equivalent in the central position undergoes a myopic refractive change as the illumination decreases. The spherical equivalent for the different eccentricities undergoes an increase in refractive error, becoming more myopic as the measurement is made further from the center position and also as the illumination is reduced. When comparing the results for different eccentricities, statistically significant values are obtained.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
Miopía nocturna.....	2
Primeras hipótesis	3
Estudios recientes	3
Refracción periférica	5
Miopía nocturna en el campo periférico.....	5
HIPOTESIS	8
OBJETIVO	8
MÉTODOS	8
Sujetos	8
Criterios de inclusión y exclusión	8
Materiales	9
Proceso experimental	10
Análisis de los resultados	12
RESULTADOS	12
Efecto de la iluminación en el diámetro pupilar	13
Equivalente esférico en visión central	13
Equivalente esférico en el campo visual	14
DISCUSIÓN.....	19
CONCLUSIÓN	21
BIBLIOGRAFÍA.....	22

INTRODUCCIÓN

La miopía nocturna es un fenómeno fisiológico que ha cobrado una gran importancia debido a su relación con los accidentes de tráfico durante la noche (1,2) y por la degradación de la percepción visual de los pilotos en sus vuelos nocturnos. (3)

El presente trabajo es un estudio piloto sobre la miopía nocturna en el campo periférico debido a que es un factor importante para la seguridad vial y aérea.

Miopía nocturna

La miopía nocturna es reconocida desde hace 200 años aproximadamente, ha sido objeto de estudio durante todo este tiempo. Dicho acontecimiento provoca que el ojo se vuelva relativamente más miope en situaciones de baja iluminación.

En el siglo XVIII el astrónomo Maskelyne presentó por primera vez la miopía nocturna e intentó corregirla para perfeccionar sus observaciones astronómicas (1), más tarde Lord Rayleigh conocido a menudo como el descubridor, anuncio: “He descubierto que en una habitación casi oscura, soy claramente miope. En una noche oscura, las pequeñas estrellas son mucho más evidentes con la ayuda de las gafas que sin ellas”. (4) En el siglo XX, durante la Segunda Guerra Mundial, la miopía nocturna fue un tema de gran interés, se estudió y se intentó cuantificar su magnitud debido a la necesidad crucial de detectar visualmente puntos de luz en el mar o en el cielo nocturno. (5) Recientemente, ha cobrado importancia la miopía nocturna ya que es un potencial obstáculo para conducir de manera segura por la noche. (1)

La magnitud de este cambio refractivo parece variar mucho entre los sujetos. Se han obtenido desde valores despreciables hasta -4,00 D de cambio refractivo miópico. En la mayoría de los estudios el valor medio se encuentra en torno a -1,50 D, este aumento de la potencia refractiva es suficiente para deteriorar de manera considerable la imagen que se forma en retina. (4,6,7)

Tras su descubrimiento se han ido publicando numerosos artículos (7,8) cuyo fin ha sido encontrar su causa. El conocimiento que se tiene sobre la miopía nocturna ha ido ampliándose con el paso de los años pero a día de hoy aún es complicado explicar su origen por completo, debido a que diferentes experimentos han proporcionado frecuentemente resultados contradictorios.

El poder comprender el origen de la miopía nocturna ha sido de gran interés durante años, algunas de las hipótesis que se conocen son la aberración cromática más el efecto Purkinje, situaciones donde la pupila se encuentra en estado midriático por las condiciones de iluminación dan lugar a la aberración esférica y por último un estado tónico de la acomodación. (4) Otras posibles explicaciones para la miopía nocturna, relacionadas con niveles de iluminación fotópicos por un error refractivo miópico, el cual no es detectado en condiciones de alta iluminación pasando desapercibido por el tamaño pupilar, cuando el diámetro pupilar aumenta al reducir la iluminación el desenfoque aumenta y se es consciente de dicho defecto. También se ha valorado la posibilidad de que el defecto de la miopía nocturna se debiese a un intento de compensar a través de la acomodación la aberración esférica que aparece por el aumento del diámetro pupilar. (9)

Primeras hipótesis

Tras su descubrimiento Rayleigh elaboró inicialmente una hipótesis donde sugería que la aparición de la miopía nocturna se debía al incremento de la aberración esférica cuando aumenta el diámetro pupilar. El fundamento de esta suposición es que en las zonas más periféricas del sistema óptico se presenta una mayor potencia refractiva que en la zona central del ojo. Cuando un sujeto se encuentra en condiciones escotópicas la pupila se dilata, los rayos que entran por la zona más extrema de la pupila se refractan antes que los que entran por el centro. Además, el papel de la zona óptica periférica se ve favorecido por la reducción o la ausencia del efecto Stiles-Crawford, responsable de que los conos sean más sensibles a los rayos centrales.

También la aberración cromática con el efecto Purkinje y la acomodación se han considerado posibles responsables de su origen. (8) En la aberración cromática se observa que las longitudes de onda corta focalizan por delante de la retina. En condiciones de baja iluminación la sensibilidad de la retina se desplaza más hacia las longitudes de onda corta, por lo que el ojo se vuelve algo más miope para estas longitudes de onda. La hipótesis de la acomodación propone que en condiciones de baja iluminación la acomodación no se relaja del todo sino que existe una acomodación residual o acomodación tónica, esto se traduce como un enfoque en una posición intermedia. (7)

La mayoría de las primeras investigaciones se centraron principalmente en la aberración esférica y la acomodación. Algunos de los investigadores observaron que por medio de ciclopléjicos se producía una reducción de la miopía nocturna, “demostrando” así el papel de la acomodación (7), además encontraron que una persona presbita presentaba 0,50 D de miopía nocturna con una amplitud acomodativa de 0,50 D lo que les llevo a aceptarlo como una prueba adicional para la teoría de que la acomodación era la causante (8); no obstante otros hallaron lo contrario, “demostrando” que su origen era debido a la aberración esférica y cromática. (6–8,10)

La teoría del origen de la miopía nocturna por la acomodación es insatisfactoria debió a que el empleo de ciclopléjico para evitar la acomodación puede producir una variación en la aberración esférica normal. Por lo que la reducción de la miopía nocturna en estas condiciones podría deberse a una disminución de la aberración esférica. (8)

Estudios recientes

A día de hoy se siguen realizando numerosas investigaciones donde se intenta resolver la polémica que existe sobre el origen de este fenómeno.

Recientemente, se ha llevado a cabo un estudio (9), de gran interés enfocado en la importancia que presenta el estímulo visual, donde se ha comprobado que en condiciones de máxima iluminación la refracción ocular que se obtiene con un fondo blanco y letras negras no es equivalente a la requerida cuando se presenta un fondo oscuro con una fuente puntual. En la Figura 1 se muestra el equivalente esférico necesario para observar un optotipo de letras, otro para observar LED en un fondo negro y la diferencia del equivalente esférico que se obtiene entre ellos. Se puede observar que efectivamente en la segunda situación la refracción es más miope que en la primera, es importante debido a que durante la noche es más frecuente percibir objetos puntuales sobre fondos oscuros. (9)

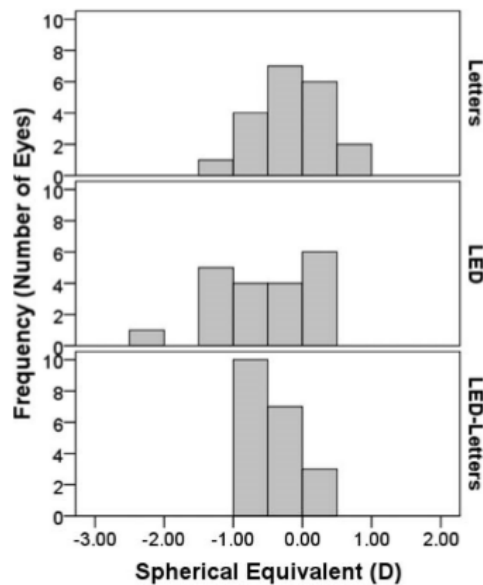


Figura 1. Histograma de frecuencia de estado de refracción esférico equivalente medido objetivamente con un optómetro Grand Seiko para letras (arriba), LED (centro) y la diferencia entre ellas (abajo). (9)

Tras los resultados obtenidos en la Figura 1 se realizó una simulación, donde se presentó un sistema con aberración esférica positiva, para conseguir que el tamaño de un punto fuese mínimo se debía observar a través de una lente negativa, obteniendo así un comportamiento miope, en cambio para la medida empleada para letras era necesaria una lente positiva. Si la aberración esférica aumenta la diferencia de refracción entre las dos medidas crece, el signo de la refracción va a depender del signo de la aberración esférica. (9)

Finalmente, se concluyó que la aberración esférica influye en la calidad de la imagen retiniana para objetos diurnos con alto contraste. Los ojos que presentan alta potencia refractiva suprimen los cambios de fase espaciales frente a la aberración esférica positiva pero por lo contrario un ojo con una potencia refractiva baja sufre cambios de fase. Además con lo obtenido en el experimento se pudo deducir que si un ojo es corregido en condiciones de alta iluminación empleando un optotipo de letras con un alto contraste, durante la noche sufrirá un desenfoque a la hora de observar objetos luminosos. El desenfoque que puede llegar a presentar los sujetos que sean corregidos de esta manera se puede deber a una miopía sub-corregida, para solucionar este problema es necesario aumentar la potencia negativa, existiendo así una mayor tendencia a presentar miopía nocturna. (9)

Otro estudio (4) que se ha llevado a cabo consiste en una sucesión de experimentos donde se ha controlado por completo las condiciones ópticas para medir la influencia del nivel de iluminación en la refracción ocular. A través de un analizador visual de óptica adaptativa se observó que los cambios se producían en condiciones de iluminación muy baja y después de producirse una adaptación a la oscuridad.

Primero se comprobó si la aberración cromática estaba presente de manera significativa en la miopía nocturna, comparando los valores obtenidos con luz monocromática y luz de amplio espectro. La diferencia que se obtuvo al realizar la comparación fue mínima, lo que indicó que

la influencia de la aberración cromática en el cambio refractivo era muy baja como para ser la responsable de la miopía nocturna.

Respecto a la aberración esférica con diferentes niveles de luminancia, se obtuvo que los resultados cuando está presente la aberración esférica en el globo ocular y cuando se corrige eran casi idénticos. Mostrando así en este experimento que la aberración esférica no es la responsable de este aumento del poder refractivo.

Por último, se midió a tiempo real la respuesta acomodativa por medio del sensor de Hartmann-Shack, lo que permitió conocer cualquier variación de desenfoque que fuese originado por la acomodación. Fue posible medir de manera objetiva el desenfoque respecto al valor subjetivo que proporcionaba el sujeto. Se realizó una comparación del desenfoque que aparecía al compensar la respuesta acomodativa con los casos sin compensar, se observó que la magnitud del desenfoque se encontraba entorno a cero cuando se corregía el error de acomodación. Como resultado se comprobó que los errores acomodativos eran los responsables del desenfoque relativo promedio. (4)

Refracción periférica

A nivel anatómico el ojo sufre numerosos cambios durante la vida, afectando a la visión. La mayor parte de las investigaciones que se han realizado sobre la óptica en el globo ocular se han centrado en el campo visual central. A pesar de esto, desde hace 70 años existe una parte de la literatura dedicada a la óptica periférica. (11–16) Actualmente se sabe que el campo visual periférico presenta errores refractivos de alta magnitud, un sujeto que presente en el campo central un astigmatismo de bajo poder dióptrico sufrirá un aumento del error refractivo a medida que se aleje de la zona central, 40° desde fovea. (14)

Los errores de astigmatismo suelen variar de manera asimétrica, en el campo visual del meridiano horizontal se ha podido observar que los errores refractivos de astigmatismo son más elevados en nasal que en temporal. (14) Existe una gran variación entre los diferentes sujetos, los ojos miopes son los que presentan un cambio de menor magnitud e incluso pueden volverse un poco más hipermétropes en el campo periférico. En comparación con los miopes los emétropes sufren mayor variación miópica, y por último los hipermétropes son los que más sufren variación negativa en su refracción, es decir, son los sujetos que más miopes se vuelven en el campo periférico. (12,14)

Un estudio reciente (11) analizó la influencia de la acomodación sobre la refracción periférica. Se tomaron medidas a diez sujetos emétropes explorando hasta 45° de excentricidad, se observó que para diferentes estados de acomodación las diferencias refractivas que existían entre el campo visual central y periférico eran magnitudes muy pequeñas. Por lo tanto, no se produce ningún cambio refractivo entre ambas áreas durante la acomodación.

Miopía nocturna en el campo periférico

La influencia de la miopía nocturna es de real importancia para muchas actividades nocturnas que dependen de la calidad visual, cabe destacar que está presente tanto en el campo visual central como en el periférico.

En condiciones de baja iluminación se sabe que la visión es diferente, el funcionamiento de los conos disminuye y en cambio el de los bastones aumenta, lo que permite captar luces mucho más tenues. Además la mejor agudeza visual no se va a alcanzar en fóvea sino que se encontrará desplazada hacia una posición más periférica. En esta situación el sistema visual va a presentar una mayor dificultad para el reconocimiento de los detalles de los objetos y una pérdida de los colores. (2,17)

A día de hoy aún no se conoce por completo el impacto que tiene la miopía nocturna sobre el rendimiento visual durante la noche. En un estudio (1) se muestra la relación de la miopía nocturna con los accidentes de tráfico, en el se presenta la Figura 2 donde se muestra el porcentaje de conductores involucrados en accidentes de tráfico durante el día y la noche separados en dos grupos, grupo de sospechosos de presentar miopía nocturna y en sujetos normales. Se puede observar que el 24% de los conductores que participaron sufrían un aumento de la refracción $\geq -0,75D$. Los sujetos que mostraban un gran aumento de la miopía nocturna no referían un mayor número de quejas a nivel visual en comparación con el resto de participantes.

Anteriormente ya existía una preocupación por las escasas manifestaciones sobre la degradación de la imagen. En 1986, Leibowitz y Owens (1) ya plantearon una hipótesis de que para la conducción nocturna era necesario el modo guía y el modo de reconocimiento. El primero no se ve afectado por la oscuridad de manera significativa pero crea al conductor una falsa seguridad al volante. En cambio, las condiciones de baja iluminación afectan al modo de reconocimiento, aumentando la posibilidad de que se produzcan accidentes por la aparición repentina de objetos no reconocidos.

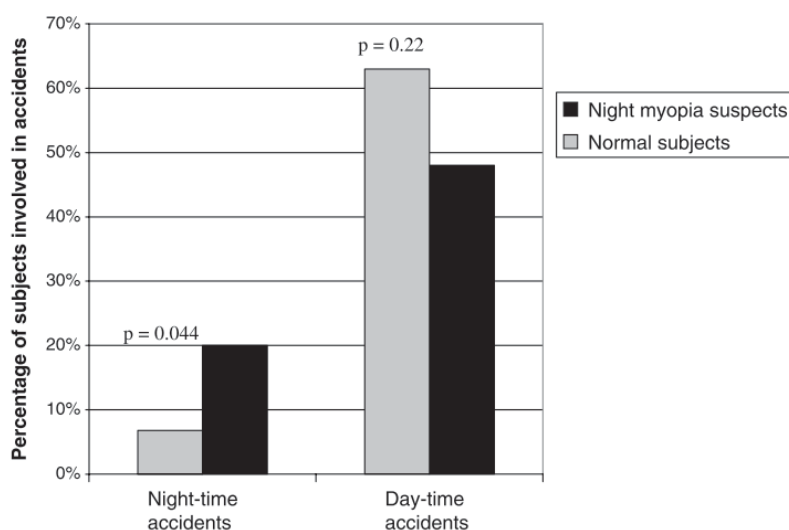


Figura 2. Porcentaje de conductores involucrados en accidentes durante el día y la noche separados en dos grupos, grupo de sospechosos de miopía nocturna y el grupo de sujetos normales.(1)

En recientes investigaciones (2) se ha comprobado que la corrección necesaria para observar elementos durante periodos nocturnos es diferente, es más miope, que la que corrige los defectos refractivos durante el día. Esto no se debe solo a que las propiedades del globo ocular

cambian, sino también porque los objetos presentan unas características luminosas diferentes. Los objetos que observamos durante el día no emiten luz propia sino que reflejan la que reciben, además por la noche el fondo donde se encuentran es más oscuro y estos pueden tener un contraste superior que el observado durante el día. Además estos factores se les suma que la aberración esférica aumenta por el tamaño pupilar. En la Figura 3 se muestra la diferencia de refracción al presentar un objeto blanco luminoso sobre un fondo oscuro y la necesaria para un optotipo convencional, se observa que gran parte de los ojos van a necesitar una mayor corrección con lentes negativas para percibir más nítidamente los elementos luminosos.

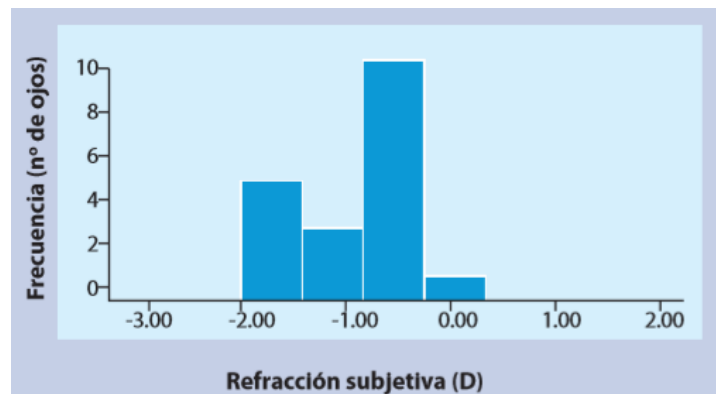


Figura 3. En el eje horizontal se presenta la diferencia entre la refracción obtenida usando un objeto blanco luminoso alejado (LED) sobre un fondo oscuro y la requerida por un optotipo (refracción estándar realizada en el gabinete). El eje vertical representa el número de pacientes que presentaban dicha diferencia. Como se aprecia, prácticamente todos los pacientes salvo uno requerían lentes más negativas para apreciar el objeto puntual. El valor medio del valor requerido fue de 0,9 D. (2)

Los pilotos de vuelos nocturnos también pueden experimentar el efecto de la miopía nocturna a cualquier altura si se encuentran en condiciones de baja iluminación. Pueden presentar varias dioptrías provocando una visión borrosa y la pérdida de contraste. Su percepción visual en el vuelo debe ser óptima por seguridad, en estas condiciones visuales pueden conllevar riesgos. (3)

La miopía nocturna es un fenómeno fisiológico que ha cobrado una gran importancia debido a su relación con los accidentes de tráfico durante la noche (1,2) y por la degradación de la percepción visual sin que los sujetos sean conscientes de ello. (3) El valor dioptrio de la miopía nocturna es diferente para cada sujeto y como se ha comentado anteriormente depende de varios factores. En este trabajo se presenta un estudio piloto sobre la miopía nocturna en el campo periférico con diferentes niveles de iluminación, observando así su variación desde un nivel de máxima iluminación hasta llegar a la completa oscuridad.

HIPOTESIS

Numerosos estudios sobre la miopía nocturna se han realizado principalmente en el campo central pero en este trabajo se trabaja con la hipótesis de si dicho fenómeno se manifiesta en el campo visual periférico para diferentes valores de iluminación.

OBJETIVO

El objetivo de este estudio es la medición de la refracción objetiva en el campo visual periférico (distintas excentricidades) para diferentes niveles de iluminación en pacientes sanos y la evaluación del efecto de la iluminación sobre la morfología pupilar.

METODOS

Sujetos

En este estudio participaron 11 sujetos sanos con un rango de edad comprendido entre 21-27 (edad media 24 años). En total el estudio cuenta con 21 ojos, debido a que uno de los pacientes no pudo ser medido por falta de tiempo debido a la pandemia COVID.

El rango de equivalente esférico central obtenido en el estudio se encuentra comprendido entre -7,75 D hasta +0,5 D, siendo el valor medio de $-2,088 \pm 0,054$ D.

A todos los participantes se les explicó en qué consistía el estudio y se les entregó un consentimiento informado que fue firmado por todos ellos.

Criterios de inclusión y exclusión

Para la selección de los participantes se deben tener en cuenta una serie de criterios que determinen si el sujeto puede formar parte del mismo o por el contrario debe ser excluido. Todos los sujetos que participen en el estudio deben cumplir los siguientes criterios de inclusión.

- Criterios de inclusión

Podrá formar parte del estudio todo sujeto que no cumpla ninguno de los criterios de exclusión.

Los participantes con error refractivo esférico o astigmático serán incluidos en el estudio.

También serán aceptados los usuarios de lentes de contacto. Los portadores de lente de contacto blanda deberán llevar mínimo entre 24-48 h sin emplear las lentes. Los portadores de lentes de contacto rígidas deberán descansar 21 días antes de realizar las medidas. Además podrán participar sujetos que hayan sido sometidos anteriormente a cirugía refractiva.

- Criterios de exclusión

Se excluyeron a las personas con enfermedades oculares y sistémicas previas, enfermedades corneales y enfermedades o trastornos a nivel retiniano.

Materiales

Los instrumentos necesarios para la realización del procedimiento experimental fueron Luxómetro PCE-174 y el Autorrefractómetro Grand Seiko WAM-550 de campo abierto.

El luxómetro PCE-174 (véase Figura 4) es un instrumento de precisión para medir el nivel de iluminación, la unidad de medida es el lux. El luxómetro fue colocado lo más próximo posible al plano pupilar del sujeto con el objetivo de controlar la iluminación real de la sala de medida. En todas las medidas se situó debajo del campo abierto del autorefractómetro. (18)



Figura 4. Luxómetro PCE-174. (18)

El Autorefractómetro Grand Seiko WAM-550 (véase Figura 5) de campo abierto fue empleado para medir de manera objetiva el error refractivo, es decir, sin intervención por parte de los pacientes ni del examinador. Mediante este instrumento se puede obtener el valor de la componente esférica y cilíndrica de la refracción ocular, tanto de la refracción central como de la periférica. También es posible medir el diámetro pupilar automáticamente, algo que es de interés en este estudio ya que se emplean diferentes niveles de iluminación. Fue posible realizar las medidas de forma eficaz ya que cuenta con una alta velocidad de medición, cabe destacar que además la capacidad de medir el poder refractor de ambos ojos permite que se realice en condiciones visuales más naturales que permiten controlar la acomodación del paciente. (19)



Figura 5. Autorefractómetro Grand Seiko WAM-550. (19)

Proceso experimental

El proceso experimental está compuesto por una serie de pasos, que se describe a continuación. Inicialmente se contactó con los sujetos vía WhatsApp. Los participantes del estudio fueron citados en los Gabinetes de Optometría de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza donde se les explicó la finalidad del estudio y el procedimiento que se iba a llevar a cabo. Se les entregó el documento del consentimiento informado, el cual una vez que el paciente había leído y comprendido todos sus puntos, fue firmado.

Las medidas fueron realizadas en los Gabinetes de Optometría por la misma examinadora (J.D.L) para no influenciar en la toma de medidas. Todas las medidas fueron realizadas en una sola visita debido a la dificultad para coordinar posibles segundas visitas con los sujetos que participaron en el estudio.

En primer lugar, con el luxómetro se midió la iluminación de la sala y se utilizó para la medida de 7 niveles de iluminación diferentes [máximo de 268 lux, 150 lux, 100 lux, 50 lux, 20 lux y un valor mínimo de 0 lux]. En el último nivel de iluminación se empleó un láser para señalar las marcas y así facilitar al paciente su correcta ubicación.

En cada nivel de iluminación se midió la refracción periférica con el autorefractómetro colocado a 226 cm de la pared. En primer lugar se midió la refracción en posición primaria de mirada (PPM). Posteriormente el sujeto tenía que mirar a diferentes estímulos no acomodativos situados a 42 cm entre las mismas, que comprendían los 60 grados del campo visual, 30° hacia temporal y 30° hacia nasal. En la Figura 6 se muestra un esquema de la ubicación de cada una de las marcas y del autorefractómetro. En cada una de las marcas se tomó una única medición de la refracción que presentaba el paciente en esa posición para cada nivel de iluminación.

Se llevó la misma secuencia de medición con todos los pacientes con el objetivo de seguir un mismo orden. Primero se midió la refracción del ojo derecho en posición primaria de mirada, seguidamente se procedió a medir la refracción en las marcas positivas y por último las marcas negativas. Después por medio del joystick se procedió a medir el ojo izquierdo llevando el mismo orden de medición. En cada uno de los ojos el objetivo era alinearse con el centro de la pupila para realizar la correcta medición.

Una vez medida la refracción en todas las marcas con esa iluminación, se realizó el mismo procedimiento para el resto de iluminaciones.

El tiempo medio que fue necesario para la toma de todas las medidas para cada uno de los pacientes era aproximadamente de 1 hora y 30 minutos.

En la Figura 6 se muestra un breve esquema de la disposición los elementos descritos en el proceso experimental.

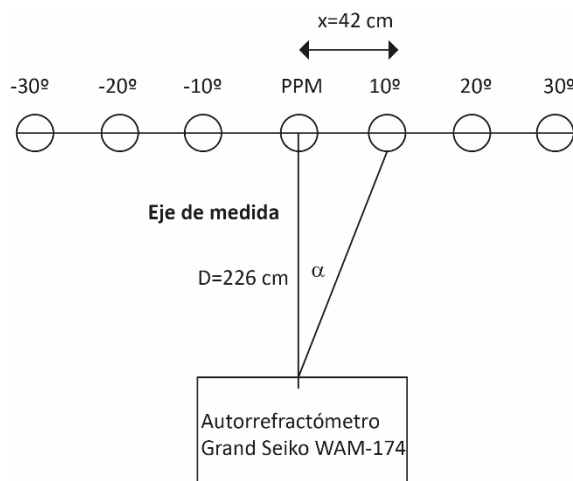


Figura 6. Esquema de la disposición de los elementos del estudio

Cada uno de los datos numéricos corresponde con uno de los estímulos no acomodativos en los que el paciente debía fijarse.

Según el ojo que se esté explorando se evalúa el campo visual temporal o nasal, esto depende también de la situación de los puntos de fijación. En el caso del ojo derecho cuando se encuentra fijando en las marcas positivas se está midiendo el campo visual temporal que corresponde con la retina nasal, pero cuando fije en las marcas negativas se evaluará el campo visual nasal, es decir, la retina temporal. En cambio, cuando se realizan las medidas del ojo izquierdo ocurre a la inversa, si el sujeto se encuentra fijando en las marcas positivas se evalúa el campo visual nasal lo que corresponde con retina temporal, con los puntos de fijación negativos se evaluará el campo visual temporal, retina nasal.(20)

El ángulo visual (α) de cada una de las mediciones se obtiene a partir de la Ecuación 1. Despejando alfa (α) se consigue el valor del ángulo visual para cada una de las excentricidades, donde x corresponde con la distancia desde el punto de fijación hasta 0 considerándolo el punto de referencia y D es la distancia desde el autorrefractómetro hasta el punto central. (21)

$$\tan \alpha = \frac{x}{D}$$

Ecuación 1. Ecuación para el cálculo del ángulo visual (21)

- Las posiciones 1 y -1 sostienen un ángulo visual entorno a 10° de excentricidad respecto de la fovea.
- Las posiciones 2 y -2 sostienen un ángulo visual entorno a 20° de excentricidad respecto de la fovea.
- Las posiciones 3 y -3 sostienen un ángulo visual entorno a 30° de excentricidad respecto de la fovea.

Análisis de los resultados

Los resultados que se obtuvieron en el proceso de medición de cada uno de los pacientes fueron pasados a una plantilla de Excel, donde se obtendrían los valores medios y la desviación estándar. La estadística fue calculada a partir del programa de Sigmaplot y las gráficas se obtuvieron por medio de Origin Lab.

En resultados se muestran las medidas de los valores medios de los diámetros pupilares según los niveles de iluminación. Además se muestra el equivalente esférico (EE), potencia esférica con la que se consigue la mejor calidad visual, se obtiene sumando a la componente esférica la mitad del defecto astigmático. (22) Se analiza el equivalente esférico en posición primaria de mirada para cada uno de los niveles de iluminación y por último se presenta un análisis de las medidas del equivalente esférico en el campo visual periférico.

El análisis estadístico se ha realizado con el análisis de la varianza (Test de ANOVA), conjunto de modelos estadísticos necesario para comparar más de dos grupos, cuando se han realizado mediciones de manera repetida más de dos veces, cuando los participantes del estudio pueden presentar variaciones en una o más de las características que pueden afectar a los resultados y es necesario regular su efecto. Se comprobó si la muestra presentaba una distribución de normalidad, el resultado fue negativo y por ello, el modelo empleado en este estudio ha sido el modelo II: efectos aleatorios (23). Además se obtuvo el valor de probabilidad (p) para comprobar si los valores obtenidos eran estadísticamente significativos, para que un resultado sea significativo p debe ser inferior a 0,050. Si $p < 0,050$ indica que los resultados no se han obtenido de manera aleatoria.

RESULTADOS

En este estudio se ha contado con la participación de 11 sujetos con un rango de edad comprendido entre 21-27 (edad media 24 años). Se ha analizado de forma independiente cada uno de los ojos. La muestra del experimento cuenta con 21 ojos en total, debido a que uno de los ojos de un paciente no pudo ser medido por falta de tiempo debido a la pandemia COVID. El error refractivo medio en posición primaria de medida es $-2,088 \pm 0,054$ D.

Como se ha comentado en la sección de análisis de los resultados se ha calculado la media y la desviación estándar de cada una de las variables analizadas, las cuales son el diámetro pupilar en posición primaria de mirada, el equivalente esférico en posición primaria de mirada y por último el equivalente esférico en cada una de las excentricidades. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada una de las variables en función de la iluminación.

Efecto de la iluminación en el diámetro pupilar

En primer lugar se va a hacer un análisis de los cambios morfológicos que se producen en la pupila debido a la reducción de la iluminación en la sala.

En la Figura 7 se presentan los valores medios del diámetro pupilar en visión central para cada uno de los niveles de luminancia empleados. En la Tabla 1 se indican los valores representados en la Figura 7. Se puede observar que efectivamente existe una variación morfológica al producirse una reducción del nivel de iluminación, se genera un incremento pupilar. Siendo el valor mínimo del diámetro pupilar de 4,56 mm para una iluminación de 268 lux y el valor máximo de 6,33 mm para una iluminación de 0 lux.

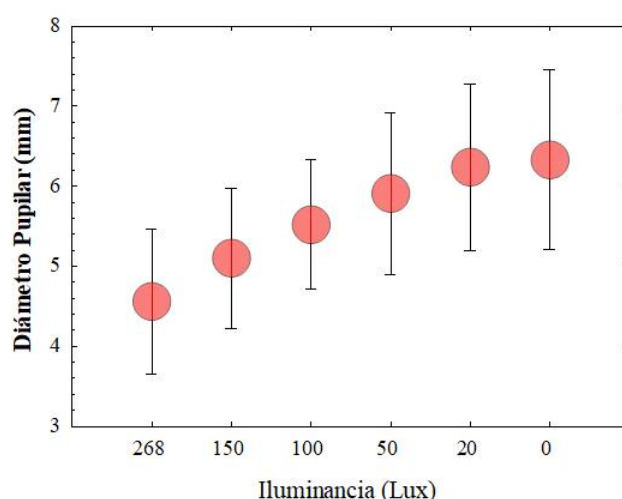


Figura 7. Cambios morfológicos del diámetro pupilar debidos al nivel de iluminación en visión central

Nivel de iluminación	Diámetro pupilar (mm)	Desviación estándar
268 lux	4,560	0,910
150 lux	5,100	0,880
100 lux	5,520	0,810
50 lux	5,910	1,010
20 lux	6,240	1,040
0 lux	6,330	1,120

Tabla 1. Cambios morfológicos del diámetro pupilar en visión central respecto a los cambios en la iluminación

Equivalente esférico en visión central

En segundo lugar, se va a analizar el equivalente esférico (EE) en visión central para cada uno de los valores de luminancia.

En la Figura 8 se presentan los valores medios del equivalente esférico para cada uno de los niveles de iluminación, se puede observar que en la posición de visión central para niveles de baja iluminación se produce una miopización en los sujetos. En la Tabla 2 se muestran los

valores medios del equivalente esférico para cada uno de los niveles de luminancia, donde se puede ver como el poder refractor aumenta a medida que el nivel de iluminación se reduce.

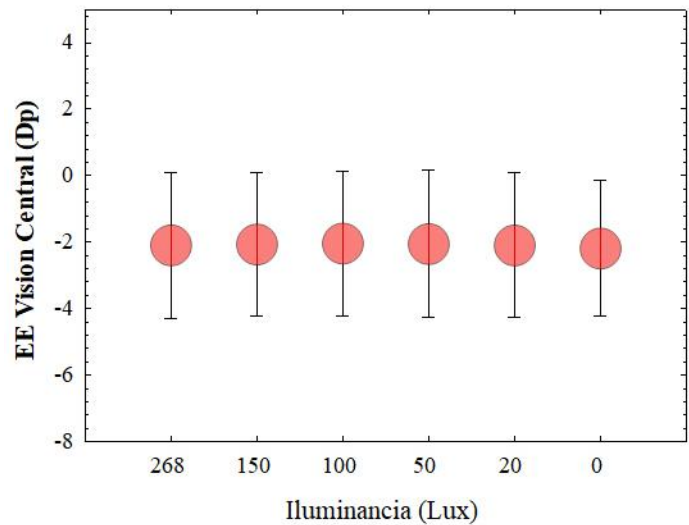


Figura 8. Equivalente esférico (EE) en visión central en cada uno de los niveles de iluminación

Nivel de iluminación	Media EE (D)	Desviación estándar
268 lux	-2,089	2,199
150 lux	-2,065	2,143
100 lux	-2,036	2,179
50 lux	-2,054	2,215
20 lux	-2,095	2,181
0 lux	-2,190	2,042

Tabla 2. Cambios del equivalente esférico (EE) en visión central respecto a los cambios en la luminancia.

Equivalente esférico en el campo visual

En tercer lugar, se ha realizado un análisis de la variación de la refracción en diferentes posiciones angulares para cada uno de los niveles de luminancia, del ojo derecho y el ojo izquierdo por separado. En la sección de métodos se ha descrito el procedimiento que se llevó a cabo para la medida de la refracción periférica.

El campo angular estudiado está comprendido desde el campo visual central hasta 30° periféricos, nasales y temporales.

En las Tablas 3 y 4 se muestran los valores de la variación del equivalente esférico en cada uno de los niveles de iluminación respecto al campo angular, del ojo derecho y del ojo izquierdo respectivamente. Además de los valores del equivalente esférico máximo, mínimo y la diferencia que presentan entre ellos.

Las Figuras 9 y 10 muestran la variación del equivalente esférico en cada uno de los niveles de iluminación respecto del campo angular. Ambas representaciones describen una forma de U invertida, es decir, el ojo derecho y el ojo izquierdo presentan el mismo comportamiento. Esta forma de U invertida es debido a que el campo visual periférico presenta valores refractivos más miopes que el campo visual central. Respecto a la luminancia en el ojo derecho (Figura 9) presenta valores levemente menos miopes en las excentricidades de -30° y 30° en comparación al resto de niveles de iluminación, en el ojo izquierdo (Figura 10) se puede observar que los valores del error refractivo cuando el nivel de iluminación es de 0 lux son errores refractivos más miopes.

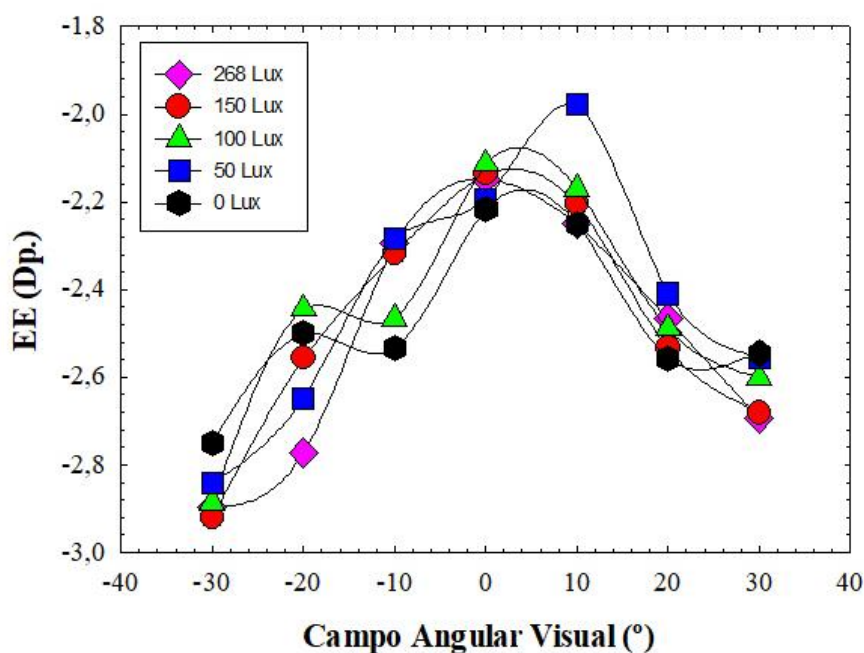


Figura 9. Variación del equivalente esférico del ojo derecho en cada uno de los niveles de iluminación respecto al campo angular

MEDIA OD	-30° (D)	-20° (D)	-10° (D)	0° (D)	10° (D)	20° (D)	30° (D)
268 lux	-2,898	-2,773	-2,295	-2,148	-2,250	-2,466	-2,693
150 lux	-2,920	-2,557	-2,318	-2,136	-2,205	-2,534	-2,682
100 lux	-2,886	-2,443	-2,466	-2,114	-2,170	-2,489	-2,602
50 lux	-2,841	-2,648	-2,284	-2,193	-1,977	-2,409	-2,557
20 lux	-2,750	-2,500	-2,534	-2,216	-2,250	-2,557	-2,545
0 lux	-2,920	-2,489	-2,511	-2,273	-2,477	-2,557	-2,670
Máx	-2,750	-2,443	-2,284	-2,114	-1,977	-2,409	-2,545
Mín	-2,920	-2,773	-2,534	-2,273	-2,477	-2,557	-2,693
Dif	0,170	0,329	0,250	0,159	0,500	0,147	0,147

Tabla 3. Cambios del equivalente esférico del ojo derecho (OD) en cada una de las excentricidades para cada uno de los niveles de iluminación

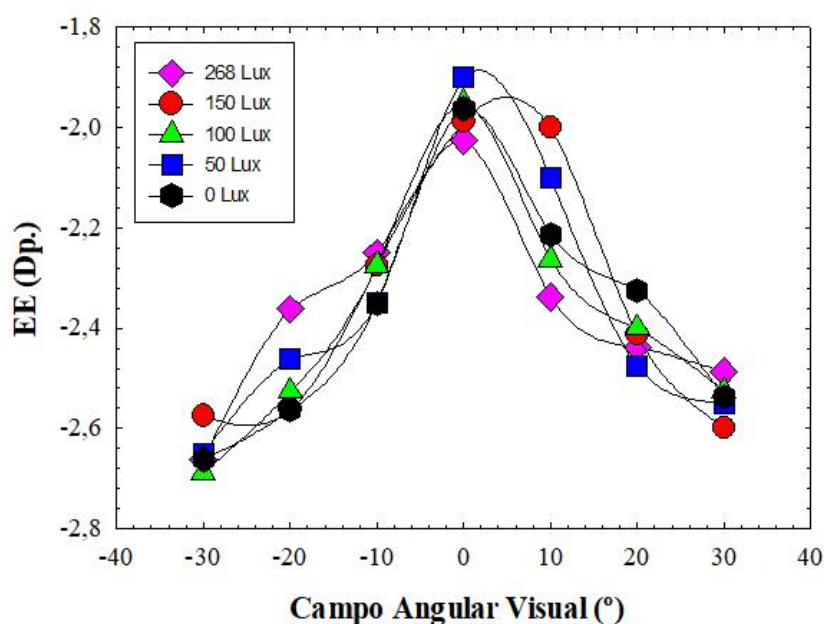


Figura 10. Variación del equivalente esférico del ojo izquierdo en cada uno de los niveles de iluminación respecto al campo angular

MEDIA OI	-30° (D)	-20° (D)	-10° (D)	0° (D)	10° (D)	20° (D)	30° (D)
268 lux	-2,663	-2,353	-2,250	-2,025	-2,338	-2,438	-2,488
150 lux	-2,575	-2,563	-2,275	-1,988	-2,000	-2,413	-2,600
100 lux	-2,688	-2,525	-2,275	-1,95	-2,263	-2,400	-2,525
50 lux	-2,650	-2,463	-2,350	-1,900	-2,100	-2,475	-2,550
20 lux	-2,663	-2,563	-2,350	-1,963	-2,213	-2,325	-2,538
0 lux	-2,638	-2,513	-2,288	-2,100	-2,300	-2,400	-2,663
Máx	-2,575	-2,363	-2,250	-1,900	-2,000	-2,325	-2,488
Mín	-2,688	-2,563	-2,350	-2,273	-2,338	-2,475	-2,663
Dif	0,113	0,200	0,100	0,159	0,338	0,150	0,175

Tabla 4. Cambios del equivalente esférico del ojo derecho (OD) en cada una de las excentricidades para cada uno de los niveles de iluminación

A continuación se observa en la Figura 11 una representación de la diferencia existente del equivalente esférico entre el ojo derecho y el ojo izquierdo. En la figura 11 se observa que donde se presenta una mayor disparidad del equivalente esférico es en las excentricidades -20°, -10° y 10°, del campo angular.

En la sección de métodos se ha explicado que las excentricidades negativas en el ojo derecho corresponden con la retina temporal y en el ojo izquierdo retina nasal. En cambio las excentricidades positivas en el ojo derecho corresponden con retina nasal y en el ojo izquierdo con retina temporal.(20)

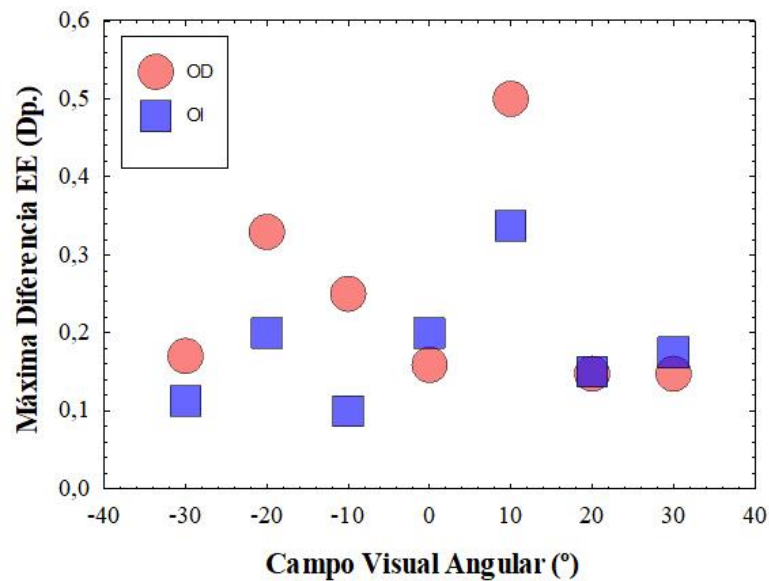


Figura 11. Máxima diferencia del equivalente esférico entre ambos ojos en cada una de las posiciones angulares

Por último, se ha realizado un análisis estadístico donde se ha llevado a cabo una comparación de muestras entre las diferentes posiciones del campo angular, donde se compara la variación del equivalente esférico entre cada una de las posiciones acordadas.

En las Tablas 5 y 6 se muestran los cálculos estadísticos donde se realiza la comparación entre las diferentes excentricidades que han sido medidas en el estudio, en la tabla 5 se muestran los valores estadísticos del ojo derecho y en la Tabla 6 del ojo izquierdo.

En ambas tablas se analiza si las variaciones producidas de una posición de mirada a otra son significativas, para esto se obtuvo el valor de probabilidad (p).

En la Tabla 5 se muestra que todas las comparaciones eran estadísticamente significativas menos cuando se realizaba la comparación entre las excentricidades: 20°/30°, -10°/20°, 20°/-20°, -20°/30° y entre 0°/10°.

En la Tabla 6 se muestra que todas las comparaciones eran estadísticamente significativas menos cuando se realizaba la comparación entre las excentricidades: -10°/20°, 10°/-10°, 20°/-20°, 30°/-30° y entre -20°/30°.

Comparison	Diff of Means	t	P	P<0,050
0°/-30°	0,689	11,981	<0,001	Yes
10°/-30°	0,648	11,257	<0,001	Yes
-10°/-30°	0,468	8,130	<0,001	Yes
0°/30°	0,445	7,735	<0,001	Yes
10°/30°	0,403	7,011	<0,001	Yes
0°/-20°	0,388	6,748	<0,001	Yes
20°/-30°	0,367	6,386	<0,001	Yes
10°/-20°	0,347	6,024	<0,001	Yes
0°/20°	0,322	5,596	<0,001	Yes
-20°/-30°	0,301	5,234	<0,001	Yes
10°/20°	0,280	4,872	<0,001	Yes
30°/-30	0,244	4,246	0,002	Yes
-10°/30°	0,223	3,884	0,004	Yes
0°/-10°	0,222	3,851	0,004	Yes
10°/-10°	0,180	3,127	0,025	Yes
-10°/-20°	0,167	2,897	0,038	Yes
20°/30°	0,123	2,140	0,182	No
-10°/20°	0,100	1,745	0,314	No
20°/-20°	0,0663	1,152	0,590	No
-20°/30°	0,0568	0,987	0,551	No
0°/10°	0,0417	0,724	0,474	no

Tabla 5. Ojo derecho, comparación de muestras entre las diferentes excentricidades.

Comparison	Diff of Means	t	P	P<0,050
0°/-30°	0,658	15,715	<0,001	Yes
0°/-30°	0,573	13,707	<0,001	Yes
0°/-20°	0,510	12,212	<0,001	Yes
10°/-30°	0,444	10,617	<0,001	Yes
0°/20°	0,421	10,068	<0,001	Yes
10°/30°	0,358	8,573	<0,001	Yes
-10°/-30°	0,348	8,324	<0,001	Yes
0°/-10°	0,310	7,427	<0,001	Yes
10°/-20°	0,296	7,078	<0,001	Yes
-10°/30°	0,263	6,280	<0,001	Yes
20°/-30°	0,238	5,682	<0,001	Yes
0°/10°	0,215	5,134	<0,001	Yes
10°/20°	0,206	4,935	<0,001	Yes
-10°/-20°	0,200	4,785	<0,001	Yes
20°/30°	0,152	3,639	0,006	Yes
-20°/-30°	0,148	3,539	0,007	Yes
-10°/20°	0,110	2,642	0,060	No
10°/-10°	0,0958	2,293	0,107	No
20°/-20°	0,0896	2,143	0,113	No
30°/-30°	0,0854	2,044	0,095	No
-20°/30°	0,0625	1,495	0,144	no

Tabla 6. Ojo izquierdo, comparación de muestras entre las diferentes excentricidades

DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo es la medición del error refractivo del campo visual periférico con distintas excentricidades para diferentes niveles de iluminación en pacientes sanos y, por lo tanto, evaluar el impacto de la iluminación sobre la morfología pupilar, sobre el estado refractivo en la visión central y en el campo visual periférico.

Debido a la situación de la crisis sanitaria de la COVID-19 el estudio tuvo que ser parado en mitad del curso académico, por ello no se pudieron realizar más mediciones y consta únicamente de 21 ojos. En el trabajo participaron 11 sujetos pero se presentan 21 ojos porque uno de ellos no pudo ser medido por falta de tiempo para la medición debido a la pandemia COVID.

A partir de los valores obtenidos en la sección de resultados se muestra que en primer lugar, el diámetro pupilar sufre una serie de cambios morfológicos a medida que el nivel de iluminación disminuye, es decir, se produce un aumento del diámetro pupilar. En segundo lugar, el equivalente esférico en visión central presenta una variación miópica a medida que se reduce el nivel de luminancia. Y en tercer lugar, el equivalente esférico en las diferentes excentricidades en las que se realizaron las medidas sufre un aumento del error refractivo, volviéndose más miope a medida que las excentricidades se alejan de la visión central y también a medida que se reduce la iluminación.

Las medidas que se tomaron en el campo angular con excentricidades positivas salen levemente menos miopes, esto puede deberse a que la pantalla del autorefractómetro se encontraba enfocando en esa dirección y emitía una cierta cantidad de luz que podría afectar a las medidas, evitando que se midiesen en condiciones de iluminación nula.

Finalmente se puede observar a través de las medidas realizadas que efectivamente se produce una miopización a medida que se reduce la luminancia de la sala, donde en condiciones fotópicas la refracción es más positiva que en condiciones mesópicas y escotópicas. Cuando los sujetos se encontraban en condiciones de iluminación nula, es decir, en la situación de 0 lux sufrían una miopización. Dicha miopización que se observa en los resultados se producía tanto en el campo visual central como en el periférico.

En el campo visual central se llegó a un valor medio de -0,154 D de miopización mientras que en el campo visual periférico se llegó a alcanzar en el ojo derecho un valor medio de -0,784 D de miopización en la excentricidad -30° en retina temporal y en el ojo izquierdo un valor medio de -0,75 D de miopización en la excentricidad -30° en retina nasal.

En relación a los cambios refractivos se puede ver que existe una relación entre el cambio morfológico de la pupila cuando la luz de la sala se reduce y la miopización de los sujetos en las mismas condiciones. En resumen a menor nivel de iluminación, mayor diámetro pupilar y como consecuencia se produce una variación miópica en la refracción de los participantes.

Todo este proceso es debido a la aberración esférica, que se ve afectada por el diámetro pupilar, durante el día el diámetro pupilar es pequeño por lo que la aberración esférica es mínima, pero en condiciones de baja iluminación como es por la noche el diámetro pupilar

aumenta por lo que la aberración esférica se ve incrementada. La variación refractiva se debe al aumento del diámetro pupilar por la baja iluminación, los haces de luz que entran en el globo ocular próximos al borde pupilar se ven más refractados que los haces paraxiales, lo que conlleva que los rayos que entran más cerca del borde pupilar alcanzan el foco antes que los que penetran por la zona central. (24) Obteniendo como resultado una refracción más miope en dichas condiciones luminosas.

El fenómeno de la miopía nocturna en numerosas ocasiones ha sido relacionado principalmente con la acomodación. Varios estudios (4,7–9) mencionan que la acomodación sufre una reducción de su amplitud cuando se produce una disminución de la luminancia, apareciendo una posición intermedia en condiciones mesópicas. Esto quiere decir que con baja iluminación o en completa ausencia de luz el ojo presenta un estado de acomodación fijo a una distancia intermedia, lo que defiende que la acomodación es la principal responsable de la miopía nocturna. (25–27) Además se defiende las conclusiones de Campbell y Fincham donde respaldan la idea de que en la acomodación solamente intervienen los conos, por lo que los bastones presentan una baja participación o incluso ninguna.

Como se ha podido observar en el presente estudio, el fenómeno de la miopía nocturna no se debe principalmente a la acomodación sino que existe una gran correlación con la aberración esférica, la cual aparece cuando el diámetro pupilar de los sujetos aumenta de tamaño debido a la reducción del nivel de iluminación de la sala como se ha explicado anteriormente. También cabe mencionar que al relacionarse la miopía nocturna con la acomodación se defiende que los fotorreceptores que actúan principalmente en dicho fenómeno son los conos. Pero se ha podido observar que dicha manifestación además de estar presente en el campo central también aparece en el campo periférico donde los fotorreceptores principales son los bastones. (26)

Se han realizado estudios donde se compara la miopía nocturna monocular con la binocular. En ellos la miopía nocturna se relaciona con error acomodativo y los resultados que se obtienen es que la miopía nocturna se ve reducida ligeramente en visión binocular. En este estudio como se ha comentado el origen de la miopía nocturna es principalmente la aberración esférica. Además las medidas han sido realizadas en visión binocular, donde se ha podido observar que incluso en estas condiciones los resultados de la variación refractiva miópica son significativos.(28)

Actualmente en algunos estudios se ha investigado la relación de la miopía nocturna con los accidentes nocturnos o el impacto de dicho fenómeno sobre la calidad visual de los conductores en condiciones de baja luminancia. En ellos se menciona que existe una baja probabilidad de que dichos cambios refractivos sean significativos y que la mala calidad visual en condiciones de baja iluminación se deben a una mala corrección de la refracción en condiciones fotópicas. Pero como se ha podido comprobar en este experimento los cambios refractivos que se han producido con los distintos niveles de iluminación y en diferentes posiciones del campo angular son significativos, y no se deben a una mala corrección refractiva en condiciones fotópicas. (24)

También hay documentos donde se recuerda que en ojos de sujetos jóvenes el cambio refractivo miope puede llegar a ser de 4,00 dioptrías en condiciones escotópicas, pero a esto se le ha restado importancia hasta este momento.(29) Normalmente la iluminación vial en las carreteras locales es la más favorable para la conducción, pero cabe destacar que cuando los conductores se encuentran en vías comarcales o nacionales se encuentran generalmente con una ausencia total o parcial de la iluminación. Según lo que se ha demostrado en este trabajo la ausencia total o parcial de luminancia hace que el sujeto se encuentre en las condiciones perfectas para presentar miopía nocturna, aumentando así el riesgo de sufrir algún accidente. Es importante ser consciente de este problema ya que los resultados obtenidos en este proyecto han demostrado que la miopía nocturna está presente tanto en el campo visual central como en el periférico. Como se sabe la visión periférica es fundamental a la hora de la conducción ya que es necesaria a la hora de realizar adelantamientos o simplemente para la seguridad vial de la población. Si el sujeto presenta miopía nocturna y no es consciente de ello se encuentra expuesto a una mayor probabilidad de sufrir o provocar algún accidente.

Además de los conductores viales los pilotos de avión también pueden ser víctimas de este peligro. Los pilotos nocturnos se encuentran en situaciones de total ausencia de iluminación por lo que presentan una mayor dificultad para volar con total seguridad, algo que es de vital importancia a la hora de pilotar.

Finalmente con lo comentado hasta el momento se debería considerar el realizar futuros estudios donde se amplié la muestra y se elimine por completo cualquier iluminación que pueda influir en los resultados.

CONCLUSIÓN

Según los resultados obtenidos en este trabajo permiten observar que la miopía nocturna se encuentra presente tanto en el campo visual central como en el periférico.

Las conclusiones de este estudio son:

- 1) El diámetro pupilar experimenta cambios morfológicos a medida que se reduce el nivel de luminancia, se produce un aumento del diámetro pupilar.
- 2) El equivalente esférico en posición central presenta una variación miópica a medida que se reduce la iluminación.
- 3) El equivalente esférico para las diferentes excentricidades sufre un aumento del error refractivo, volviéndose más miope a medida que las excentricidades se encuentran más alejadas de la posición central y también a medida que se reduce la iluminación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cohen Y, Zadok D, Barkana Y, Shochat Z, Ashkenazi I, Avni I, et al. Relationship between night myopia and night-time motor vehicle accidents. *Acta Ophthalmol Scand* [Internet]. 2007;85(4):367–70. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17335516>
2. Villa C. Recientes investigaciones ofrecen una nueva explicación al fenómeno de la miopía nocturna. *Gac Optom y ÓPTICA OFTÁLMICA* [Internet]. 2012;(473):48–50. Available from: <https://www.cgcoo.es/ediciones/septiembre-2012>
3. Evans ADB, Watson DB, Evans SA, Hastings J, Singh J, Thibeault C. Manual de medicina aeronáutica civil [Internet]. 2012. 618 p. Available from: https://www.icao.int/publications/Documents/8984_cons_es.pdf
4. Artal P, Schwarz C, Cánovas C, Mira-Agudelo A. Night myopia studied with an adaptive optics visual analyzer. *PLoS One* [Internet]. 2012;7(7):1–6. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Night+Myopia+Studied+with+an+Adaptive+Optics+Visual+Analyzer>
5. OTERO JM, PLAZA L, SALAVERRI F. Absolute thresholds and night myopia. *J Opt Soc Am* [Internet]. 1949;39(2):167–72. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18125569/>
6. KOOMEN M, TOUSEY R, SCOLNIK R. The spherical aberration of the eye. *J Opt Soc Am* [Internet]. 1949;39(5):370–6. Available from: <https://www.osapublishing.org/josa/abstract.cfm?uri=josa-39-5-370>
7. Hope GM, Rubin ML. Night myopia. *Surv Ophthalmol* [Internet]. 1984;29(2):129–36. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6505952>
8. Koomen M, Scolnik R, Tousey R. A Study of Night Myopia. *J Opt Soc Am* [Internet]. 1951;41(2):80–90. Available from: <https://www.osapublishing.org/josa/viewmedia.cfm?uri=josa-41-2-80&seq=0>
9. López-Gil N, Peixoto-de-Matos SC, Thibos LN, González-Méijome JM. Shedding light on night myopia. *J Vis* [Internet]. 2012;12(5):1–9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22593090>
10. OTERO JM. Influence of the state of accommodation on the visual performance of the human eye. *J Opt Soc Am* [Internet]. 1951;41(12):942–8. Available from: <https://www.osapublishing.org/josa/abstract.cfm?uri=josa-41-12-942>
11. Tabernero J, Schaeffel F. Fast scanning photoretoscope to measuring peripheral refraction as a function of accommodation. *Opt InfoBase Conf Pap*. 2009;26(10):2206–10.
12. Atchison DA, Pritchard N, Schmid KL. Peripheral refraction along the horizontal and vertical visual fields in myopia. *Vision Res* [Internet]. 2006;46(8–9):1450–8. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16356528>
13. Seidemann A, Schaeffel F, Guirao A, Lopez-Gil N, Artal P. Peripheral refractive errors in myopic, emmetropic, and hyperopic young subjects. *J Opt Soc Am A* [Internet]. 2002;19(12):2363. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12469730>
14. Atchison DA, Pritchard N, White SD, Griffiths AM. Influence of age on peripheral

- refraction. *Vision Res* [Internet]. 2005;45(6):715–20. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042698904004948?via%3Dihub>
15. Smith EL, Kee CS, Ramamirtham R, Qiao-Grider Y, Hung LF. Peripheral vision can influence eye growth and refractive development in infant monkeys. *Investig Ophthalmol Vis Sci* [Internet]. 2005;46(11):3965–72. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16249469>
 16. Jaeken B, Tabernero J, Schaeffel F, Artal P. Comparison of two scanning instruments to measure peripheral refraction in the human eye. *J Opt Soc Am A*. 2012;29(3):258.
 17. Charman WN. Night myopia and driving. *Ophthalmic Physiol Opt* [Internet]. 1996;16(6):474–85. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8944194>
 18. Instruments PCE, Ibérica PCE, Marcoleta A Lo. Instrucciones de uso Luxómetro PCE-174. 2016;1:1–10.
 19. Autorefractometro queratometro Grand Seiko WAM-5500. Availale from:http://www.moingrupo.com/autorefractometro_queratometro_grand_seiko_WAM5500.html
 20. Sánchez Méndez F. El nervio óptico y los trastornos de la visión. *Med Integr* [Internet]. 2001;38(9):390–7. Available from: <http://www.elsevier.es/es-revista-medicina-integral-63-articulo-el-nervio-optico-los-trastornos-13022952%0A>
 21. Vaillancourt DE, Haibach PS, Newell KM. Visual angle is the critical variable mediating gain-related effects in manual control. *Exp Brain Res* [Internet]. 2006;173(4):742–50. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16604313>
 22. Teresa P, Ascaso FJ, Cristóbal JÁ, Belmonte Martínez J. Corrección del Astigmatismo. *Arch Soc Esp Oftalmol* [Internet]. 2006;82(2):99–120. Available from: <https://secoir.org/~josepr23/sociedades/SECOIR/images/site/monografias/2006/2006-Cap 07 Corrección óptica del astigmatismo.pdf>
 23. Jorge Dagnino S. Análisis de varianza. *Rev Chil Anest* [Internet]. 2014;43(4):306–10. Available from: <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
 24. Vidal R. Entendiendo e interpretando las aberraciones ópticas. *Cienc y Tecnol para la Salud Vis y Ocul* [Internet]. 2011;9(2):105–22. Available from: <file:///C:/Users/MaríaRosa/Downloads/Dialnet-EntendiendoEInterpretandoLasAberracionesOpticas-5599209.pdf>
 25. Leibowitz HW, Owens DA. Night Myopia and the Intermediate Dark Focus of Accommodation. *J Opt Soc Am* [Internet]. 1975;65(10):1121–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1185296/>
 26. Johnson CA. Effects of Luminance and Stimulus Distance on Accommodation and Visual Resolution. *J Opt Soc Am* [Internet]. 1976;66(2):138–42. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1082014/>
 27. Kotulak JC, Morse SE, Rabin JC. Optical compensation for night myopia based on dark focus and CA/C ratio. *Investig Ophthalmol Vis Sci* [Internet]. 1995;36(8):1573–80. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7601638/>
 28. Chirre E, Prieto PM, Schwarz C, Artal P. Night myopia is reduced in binocular vision. *J Vis*

- [Internet]. 2016;16(8):1–10. Available from:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27333457/>
29. Charman WN. Vision and driving and commentary - a literature review. *Optal Physiol Opt* [Internet]. 1997;17(5):371–91. Available from:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9390364/>